

заполнителя и прочностные показатели бетона труб. Коэффициент вариации изменяется от 6 до 2% (при армировании двойным цилиндрическим, одинарным эллиптическим каркасами, дисперсное армирование).

Влияние способов формирования и типа армирования на прочность бетона в трубах

Способ формирования	Тип армокаркаса	Предел прочности R, МПа	
		при сжатии	при растяжении
I Вибрирование	1	30,2	2,02
	2	31,4	2,19
	3	36,4	2,78
II Ротационно-силовой	1	33,4	2,18
	2	34,4	2,21
	3	41,8	3,45

*Примечание:* Тип армокаркаса: 1 – двойной цилиндрический; 2 – одинарный эллиптический; 3 – дисперсное армирование

Таким образом, перспективным является ротационно-силовой способ формирования труб из дисперсно-армированной бетонной смеси.

1.Исламов В.К. Рифленые трубы, характеристики и возможности применения // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – №5. – С.18-19.

2.Грайфер А., Рабинович Л. Рациональное армирование железобетонных безнапорных труб // Промышленное строительство. – 1984. – №1. – С.19-20.

3.Дюженко М.Г. Основы теории и практики производства бетонных работ средствами ротационно-силового уплотнения: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1989. – 44 с.

4.А.с. №455011, СССР. М. Кл. В 28 В 21/14. Головка к трубоформовочному станку радиального уплотнения.

5.Широков В.С. Железобетонные трубы и перспективы их производства // Бетон и железобетон. – 2004. – №1. – С.25-27.

*Получено 26.07.2004*

УДК 628.112.001.8

А.М.ТУГАЙ, д-р техн. наук, Я.А.ТУГАЙ, канд. техн. наук

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

## **АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ КОЛЬМАТАЖУ І ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ЙОГО ВРАХУВАННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ПРОДУКТИВНОСТІ СВЕРДЛОВИН**

Аналізуються методи очищення фільтрів свердловин від кольматації, тобто відновлення продуктивності свердловин. Досліджено матеріальний баланс речовин в оброблюваній присвердловинній зоні.

В умовах дефіциту поверхневих вод та їх в цілому забрудненого стану гострою проблемою в Україні є забезпечення надійного і безперебійного водопостачання населення міст і сіл питною водою з під-

земних джерел. Проте існуючий досвід експлуатації вертикальних свердловин, працюючих, як правило, в складних гідрогеологічних умовах, свідчить, що методи розрахунку їх продуктивності, розроблені для досить схематизованих гідрогеологічних умов і течій підземних вод, недосконалі і потребують покращення, що є однією із задач досліджень в даній роботі. Крім того, основні показники експлуатації водозабірних свердловин на підприємствах водопровідно-каналізаційного господарства (ВКГ) України з часом значно знижуються. Це пояснюється тим, що в процесі роботи в водозабірних свердловинах відбуваються процеси механічного, хімічного і біологічного кольматажу як самих фільтрів, так і прифільтрового простору, що призводить до збільшення гідравлічного опору в свердловині, зниження динамічного рівня води в ній, зменшення притоку води і продуктивності свердловин в цілому.

Аналіз експлуатації артезіанських свердловин і водопонижуючих трубчатих бурових колодязів показав, що крім кольматації присвердловинної зони забрудненнями органічного і механічного походження особливо важливим для різних регіонів нашої країни є хімічне забруднення свердловин різними сполуками заліза.

Нами вперше розглядається ефективність роботи свердловин на основі комплексного теоретичного вивчення питань взаємодії факторів гідравлічних і фізико-хімічних процесів кольматажу в умовах фільтрації в пористому середовищі (зміна гідравлічних властивостей середовища, різні кінетики масообміну і реакції, нестационарність процесів та ін.) та можливість відновлення продуктивності водозаборів на їх основі.

Робота виконувалась в рамках державної програми „Охорона навколишнього середовища” і тісно пов’язана з планами держбюджетної тематики Київського національного університету будівництва та архітектури (КНУБА).

Вилучення кольматуючих утворень з пористого середовища (фільтра і прифільтрової зони) є основною задачею регенерації свердловин. Тому головним напрямком досліджень було вивчення кінетики декольматації фільтрів і прифільтрових зон свердловин і підбора найбільш ефективного хімічного реагенту залежно від складу кольматанта.

Питання вибору і кількості реагенту, поширення реагентів у закольматованих середовищах від місця подачі розчину, процеси взаємодії його з частками кольматанта (розчинення осаду), перетворення і трансформація часток кольматанта і інгредієнта – реагенту, оцінка ефективності проведених заходів щодо відновлення продуктивності

дебіту свердловин, тобто розгляд усього блоку механізмів „кольматант – розчин реагенту”, на думку багатьох дослідників доцільно вивчати з позицій теорії фільтрації, масопереносу і масообміну із застосуванням різних моделей обмінної кінетики [4].

Деформаційні процеси, пов’язані з відкладенням у порах дрібних часток ґрунту й осадів, що утворюються з різних хімічних сполук (прилипання, осадження), які переміщуються фільтраційним потоком, що призводить до зменшення проникності (пористості), відбуваються в результаті кольматації матеріалу фільтра і ґрунту, що прилягає до нього. При цьому розрізняють механічний, хімічний і біологічний кольматажі. Механічний кольматаж – явище, зворотне механічній суфозії, виявляється переважно при накачуванні поверхневих вод, що мають зважені частки, у підземні горизонти і при відкачці з верхніх піщаних шарів. При тривалих відкачках з глибоких горизонтів, у водах яких містяться сполуки заліза, кальцію, марганцю та ін., а також тонкі піщані і глиняні частки, в результаті порушення хімічної рівноваги і хімічних реакцій утворюються різні осади важкорозчинних солей, кольматуючих прифільтрову зону і фільтр. Процеси кольматажу, що відбуваються в прифільтрових зонах, прискорюються біологічною діяльністю різних мікроорганізмів (біологічний кольматаж). Вплив біологічних факторів на кольматаж надалі не розглядається, а тільки найбільш розповсюджені механічний і хімічний кольматажі, причому наступний – переважно з сполуками заліза, оскільки поверхневі і особливо підземні води України скрізь утримують різноманітні форми заліза.

У деяких областях (північних і західних) [1] України підземні горизонти, що залягають на глибині 60-150 м і характеризуються гарною водонасиченістю, мають підвищений вміст заліза у воді – понад  $1 \text{ мг/дм}^3$  (переважно до  $10 \text{ мг/дм}^3$ ). За звичайних умов у підземних водах, мало насичених киснем, залізо міститься в розчиненому стані у вигляді іонів заліза  $\text{Fe}^{2+}$  або його нестійких закисних форм (карбонатних, бікарбонатних і т.п.). При взаємодії з розчиненим у воді киснем, що надходить у присвердловинну зону різними шляхами, двохвалентне залізо  $\text{Fe}^{2+}$  окислюється в трьохвалентне  $\text{Fe}^{3+}$ , а потім гідролізується в важкорозчинні у воді частки гідроксиду заліза  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Свіжеутворений з цих часток неущільнений осад, що може утворитися в значних кількостях за тривалий час (дегідратацію цього осаду, утворену за цей час, можна не враховувати), майже цілком заповнює пори фільтру і прилягаючого до нього ґрунту. Як показали експерименти, хоча цей осад має високу пористість, у той же час спостерігається істотне зниження продуктивності свердловин. У звичайних умовах при найбільш-

ших вихідних концентраціях у воді, а отже і кількості відкладеного в порах осаду  $\text{Fe}^{2+}$ , розрахунковий період  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  кольматації значно збільшується, і у цьому випадку необхідно врахувати „старіння” (дегідратацію). Тобто кольматант перед регенерацією буде складатися з частково ущільненого осаду  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , що утворився при цьому з більш ущільнених нових форм сполук заліза, і в цілому осад кольматанта матиме меншу пористість. Таким чином, надалі при розгляді і вивченні процесів хімічної кольматації мають враховуватися зазначені вище фізико-хімічні явища утворення і трансформації осадів сполук заліза.

Велика кількість причин, що ведуть до кольматації фільтрів і прифільтрових зон водозабірних свердловин та форм і видів кольматанту, зумовлює значну кількість методів відновлення їх продуктивності [2, 3]. Причини зниження дебіту свердловини встановлюють на основі діагностики. Найефективніші методи діагностики свердловин наведено в [4] та інших роботах. Вони включають використання телевізійних камер для обстеження свердловин, гелієву зйомку водоносних пластів, виміри витрат фільтрів, обстеження свердловин електронно-каротажною станцією з використанням методів геофізики.

До найскладніших відносяться методи відновлення свердловин шляхом бурового ремонту. В класифікації вони виділені в окрему групу. Однією з найбільш трудомістких операцій є заміна закольматованого або зруйнованого фільтра. Технологія бурового ремонту полягає у видаленні старого фільтра, засипці ствола піском, повторному бурінні свердловини, встановленні нового фільтра. Але таку операцію не завжди можна провести успішно. Наприклад, спроба замінити зруйнований фільтр на одній свердловині житлового району Дарниця м.Києва закінчилася розривом фільтрової колони. Для відновлення роботи свердловини було встановлено в ній, замість старої фільтрової колони діаметром  $d=200$  мм, нову діаметром  $d=150$  мм з робочою частиною в інтервалі 90-105 м. На відмітці 93 м гумовими сальниками було перекрито старий фільтр. Каверна, що утворилась внаслідок піскування свердловини і розриву старої надфільтрової колони на глибинах 86-91 м до гумового сальника, і простір, що виник між обсадною і надфільтровою колонами, було засипано гравієм. Після ремонту дебіт свердловини було практично відновлено майже до проектного рівня.

Досвід експлуатації свердловини в Києві свідчить, що заміна фільтра потребує великої точності при виконанні всіх операцій. Порушення техніки встановлення нового фільтра або навіть сальника призводить до піскування свердловини.

Методами капітального ремонту можна переводити свердловини

з нижнього водоносного шару на верхній за умови наявності в розрізі водоносних шарів, перекритих обсадними трубами. Якщо перехід на верхній водоносний шар неможливий (неякісна вода, малопотужний пласт), доцільно переходити на більш глибокі водоносні шари.

Найпростішими є механічні і гідравлічні методи очищення фільтрів від кольматажу з використанням різноманітних йоржів, щіток, йоржів з уловлювачами, гідройоржів, йоржів з насадкою, поршнів (свабів), скребків тощо. Гідройоржі і сваби часто використовують для розглинизації свердловин. Недоліком механічних йоржів, щіток, скребків є те, що вони забезпечують очищення від кольматажу лише внутрішньої поверхні фільтрів свердловин. До таких методів слід віднести очищення фільтрів желонками від піску в піскуючих свердловинах.

Очищення фільтрів свердловин від кольматації рихлим хімічним осадом і механічними домішками можна досягти промиванням робочої частини фільтра і прифільтрового простору свердловини водою, що нагнітається до неї безпосередньо. Ефективність очистки контролюється в процесі виконання робіт зниженням рівня води в стволі свердловини, що поглиналась водоносним шаром через однакові проміжки часу. Якщо крива зниження рівня води, отримана при чергових замірах, майже співпадає з попередньою кривою, то ефект очищення фільтра промиванням вважається досягнутим.

В практиці відновлення продуктивності водозабірних свердловин найважливіше місце посідають реагентні методи очистки свердловин, засновані на принципі розчинення залістистих та інших осадів, що закупорюють робочу поверхню фільтра та прифільтрову зону, використовуючи рідкі, порошкоподібні, газоподібні, змішані або композиційні реагенти. При цьому використовують різні технології обробки закольматованих зон реагентами і способами вводу його в ці зони: по типу реагентної ванни, циклічні способи з неперервним, неперервно-імпульсним і імпульсним вводом (задавленням) реагента.

Ефективними є композиції реагентів, що містять соляну кислоту, дігіоніт натрію, сульфат натрію та інші.

Розчинна здатність цих реагентів становить понад 60%. Для обробки однієї свердловини лише соляної кислоти потрібно, залежно від діаметру фільтра, від 300 до 1100 кг 15-20% HCl, що робить саме солянокислотний метод економічно досить витратним. Зазначимо, що ефективність регенерації (розчинення осаду) в значній мірі залежить від температури.

На кафедрі водопостачання КНУБА було запропоновано розчин з порошкоподібних реагентів для очищення фільтрів свердловин, що складався з фосфорорганічних комплексонів: нітрілотриметілфосфо-

нової (НТФ) і оксиетілідендіфосфонової (ОДЕФ) кислот, які селективно діють на катіони металів, що містяться у складі кольматанту. Розчин було випробувано у виробничих умовах на свердловинах м. Києва і захищено патентом.

Для відновлення продуктивності водозабірних свердловин шляхом руйнування кольматуючих відкладень широко використовуються імпульсні методи обробки фільтрів і прифільтрових зон, засновані на використанні вибуху торпед із детонуючого шнуру, електричних розрядів в рідині, пневмовибуху, газової детонації. Під дією ударних хвиль, виникаючих при вибухах, порушується цілісність кольматуючих відкладень, формуються додаткові тріщини у водонапірних породах. Якщо водоносний пласт являє собою піщані відкладення, ударна хвиля викликає перерозподіл частини породи, порушує зв'язок між кольматуючими осадами, породами і фільтрами. Потоки води, що супроводжують вибух, сприяють вилученню зруйнованого осаду з поверхні фільтру, щілин і тріщин.

З імпульсних методів переважними є моно- і пневмовибухи, при використанні яких забезпечується багаторазова дія імпульсних навантажень з регулюючими параметрами, чим попереджується можливість руйнування свердловин. Обробка свердловин газовою детонацією відзначається простотою, доступністю, низькою вартістю, але потребує великих затрат праці і часу в порівнянні з іншими способами відновлення продуктивності свердловин. У той же час імпульсні вібраційні методи обробки свердловини часто не забезпечують ефективного вилучення кольматанта з прифільтрової зони свердловин, що призводить при їх наступній експлуатації до інтенсивного створення і відкладення осадів (кольматантів) в паровому просторі водоносної породи і, як наслідок, до зниження дебіту свердловин.

Для повнішого відновлення структури і пористості водоносного пласта і подовження терміну експлуатації свердловин з високим (початковим) дебітом доцільно використовувати комбіновані циклічно-реагентні методи обробки свердловин, які поєднують дію на фільтр і прифільтровий простір гідродинамічного тиску, що створюють циклічні методи, і наступну дію реагентів для руйнування кольматанта.

Застосування циклічно-реагентних методів у багатьох випадках забезпечить вищу ступінь відновлення продуктивності свердловин у порівнянні з одним, окремо взятим, методом за рахунок кращого руйнування та вилучення кольматуючих відкладень з поверхні фільтру і прифільтрової зони. При цьому слід пам'ятати, що позитивний ефект можуть дати тільки правильно підібрані реагенти і циклічні методи.

Взагалі, при виборі методу очищення фільтрів свердловин від кольматації, тобто відновлення продуктивності свердловин, необхідно враховувати склад порід водоносного шару, склад кольматажу, його об'єм і зону відкладення, стійкість фільтрів і обсіпки до дії на них реагентів і можливість механічних пошкоджень, вартість методу та його ефективність.

Існуючий практичний досвід регенерації свердловин, закольматованих різними хімічними сполуками (переважно сполуками заліза) свідчить, що перспективною для подальшого розвитку і використання та ефективною технологією вилучення осаду кольматанту є обробка (розчинення) його різними реагентами. При цьому цей ефект залежить від виду реагенту, технології його вводу (задавлення), способів вилучення продуктів реакцій, температури та ін.

Фізико-хімічна природа утворення кольматанта в свердловинах і його вилучення (регенерація) досить складна, оскільки тут відбуваються процеси присипання, осідання, розчинення, вилучення зважених часток, коагуляція і різні види сорбції важкорозчинених у воді солей і інших сполук. Разом з тим, вказані процеси за своєю суттю можна розглядати з позиції теорії гідродинамічної динаміки, процесів масопереносу і масообміну, використовуючи для їх опису різні кінетики масообміну. На цьому ґрунтується побудова різних математичних моделей процесу і на їх основі розробка інженерних методів розрахунку.

У процесі регенерації свердловин звичайно можна бачити такі характерні етапи:

- 1) заливання реагенту в свердловину чи готування розчину реагенту безпосередньо в свердловині;
- 2) проникнення реагенту в присвердловинну зону;
- 3) розчинення кольматанту в присвердловинній зоні;
- 4) винос розчиненого кольматанту.

Надалі для можливої реалізації цієї моделі вважається, що тривалість перших двох і останнього етапів набагато менша, ніж час самої обробки, що цілком припустимо для обробки за методом реагентної ванни.

Матеріальний баланс речовин в оброблюваній присвердловинній зоні має вигляд:

$$\frac{\partial(nC)}{\partial t} + \rho_{oc} \frac{\partial b}{\partial t} = 0. \quad (1)$$

Тут  $n$  – пористість закольматованого пористого середовища:

$$n = n_o - b(t), \quad (2)$$

де  $n_o$  – пористість незакольматованого пористого середовища;  $b$  – об'єм осаду, що накопичується в одиниці об'єму середовища;  $C$  – масова концентрація солей кольматанта, розчинених у реагенті;  $\rho_{oc}$  – щільність закольматованих відкладень.

Рішення цього рівняння виконано раніше [2, 3].

При найбільш ефективній і розповсюдженій на практиці циклічній обробці фільтра і прифільтрової зони в умовах зворотньо-поступального руху підземних вод і при різних технологіях введення реагенту в свердловину необхідно розглядати і враховувати також процеси переносу і змішання реагентів і продуктів реакції з пластовою водою [5], що дозволяє враховувати різні фактори кольматажу при визначенні продуктивності свердловин.

На підставі аналізу даних теоретичних і експериментальних досліджень притоку і відбору для водопостачання підземних вод вертикальними свердловинами і трубчатими колодязями, які працюють в різних гідрогеологічних умовах їх експлуатації, процесів механічної і хімічної кольматації в прифільтровій зоні, що призводить до зменшення продуктивності свердловин за рахунок виникнення додаткових фільтраційних опорів, процесів хімічної регенерації по відновленню продуктивності свердловин, закольматованих різними хімічними сполуками, можна зробити наступні основні висновки.

Для відновлення продуктивності свердловин, особливо закольматованих різними хімічними сполуками, застосовують різні технологічні способи реагентної обробки, переважно на основі використання різних розчинів реагентів. Процеси кольматації свердловин і наступну їх регенерацію доцільно вивчати з позиції теорії фільтрації, масопереносу і масообміну із застосуванням різних моделей обмінної кінетики.

В умовах механічного кольматажу при фільтрації під дією різних механізмів відбувається утворення і накопичення в поровому просторі осаду завислих часток (забруднень) різного механічного утворення, що призводить до зменшення коефіцієнта фільтрації і пористості середовища і внаслідок цього до зростання гідравлічного опору пористого середовища в окремих зонах.

Розроблені моделі і методи розрахунку можуть бути використані для вирішення питань регенерації прифільтрової зони свердловин, закольматованих переважно сполуками заліза, що важливо для багатьох регіонів України.

1.Тугай А.М. Водоснабжение. Водозаборные сооружения. – К.: Вища школа, 1984. – 200 с.



2.Олейник А.Я., Тугай А.М. Моделирование процессов кольматажа и суффозии в прифилтровой зоне скважины // Доповіді НАН України. – 2001. – № 9. – С.190-194.

3.Тугай А.М. Теоретические исследования регенерации фильтров, закольматированных соединениями железа // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, - 2002. – № 18. – С.249-257.

4.Description d'une unite de rehabilitation par chemisage partiel / Avice Jean-Michel // Eau, ind., nuisances. – 1997. – N 200. – P.34-36.

5.Тугай А.М., Прокопчук И.Т., Гадаев А.Н. Способы интенсификации процесса регенерации водозаборных скважин // Тез. докл. 52-й науч.-практ. конф. КИСИ. – К.: Віпол, 1991. – С.30.

*Отримано 30.07.2004*

УДК 621.311 : 502.5

В.І.ТАШИНСЬКИЙ, д-р техн. наук

*Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”*

### **НОВІ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВІ ВИДАННЯ ЗАГАЛЬНОГО НАПРЯМКУ „ЕНЕРГЕТИКА – ДОВКІЛЛЯ – ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ”**

Наведено коротку інформацію та аналіз актуальності, своєчасності, науково-педагогічної і практичної цінності підручників, навчальних посібників і монографій останніх років напрямку “Енергетика – довкілля – енергозбереження”.

Сучасна енергетика – вагомий фактор розвитку і надійності функціонування практично усіх галузей народного господарства. Тому частка участі енерговиробництва і енергетичних установок у використанні паливно-енергетичних ресурсів, енергозбереження, а також забруднення довкілля дуже висока.

Для поліпшення останніх факторів необхідно володіти знаннями фізичних основ процесів виробництва і використання енергії, а також конструктивних та експлуатаційних особливостей сучасних енергетичних установок, щоб виявити головні напрямки, зокрема, зменшення негативного впливу енергетики на екологію. Це потребує нових підходів до підготовки висококваліфікованих інженерів та технічних працівників, заснованих на відповідних навчальних підручниках і посібниках. У той же час в Україні поки що бракує необхідної науково-технічної і навчальної літератури.

Далі розглядаються навчальні і науково-технічні видання останніх років [1-15], що вносять значний внесок у вирішення цієї проблеми. Цьому сприяє той факт, що в їх підготовці і написанні взяли участь провідні фахівці таких відомих в Україні та за її межами вузів, як Національні технічні університети “КПІ” і “ХПІ”, Харківська національна академія міського господарства, Харківський національний автомобільно-дорожній університет та ін., Північно-східного наукового